

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-298702

(43)Date of publication of application : 22.10.1992

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 03-045050

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 11.03.1991

(72)Inventor : HIBINO YOSHINORI  
KOMINATO TOSHIMI  
TAKAGI AKIHIRO

(30)Priority

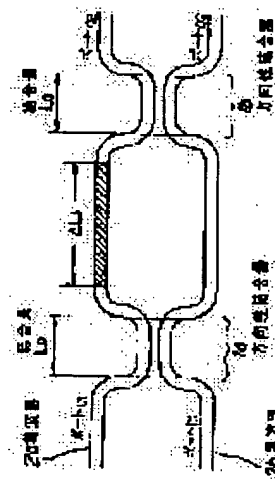
Priority number : 03 36590 Priority date : 07.02.1991 Priority country : JP

## (54) OPTICAL CIRCUIT AND ITS CHARACTERISTIC ADJUSTING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To adjust refractive index effectively and locally and to improve productivity by adding a dopant which is sensitive to light in the ultraviolet range to a core part and irradiating the core part with laser light in the visible or ultraviolet range.

CONSTITUTION: The dopant which is sensitive to the light in the ultraviolet range is added to the core part, which is irradiated with the laser light in the visible or ultraviolet range to adjust the refractive indexes of waveguides 2a and 2b. In another way, the optical circuit consists of the two waveguides 2a and 2b connecting two directional couplers 1a and 1b, the dopant which is sensitive to the ultraviolet rays is added to the core part of at least one waveguide and the core part is irradiated with the laser light in the visible or ultraviolet range to adjust the refractive index of the core part. Further, the optical circuit has a refractive index modulation type grating formed by adding the dopant which is sensitive to the light in the ultraviolet range to the core part and irradiating the waveguides 2a and 2b with the laser light in the visible or ultraviolet range after interference.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-298702

(43) 公開日 平成4年(1992)10月22日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 0 2 B 6/12

識別記号 庁内整理番号  
M 7036-2K  
A 7036-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全6頁)

(21) 出願番号 特願平3-45050

(22) 出願日 平成3年(1991)3月11日

(31) 優先権主張番号 特願平3-36590

(32) 優先日 平3(1991)2月7日

(33) 優先権主張国 日本(JP)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 日比野 善典

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小湊 俊海

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 高木 章宏

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

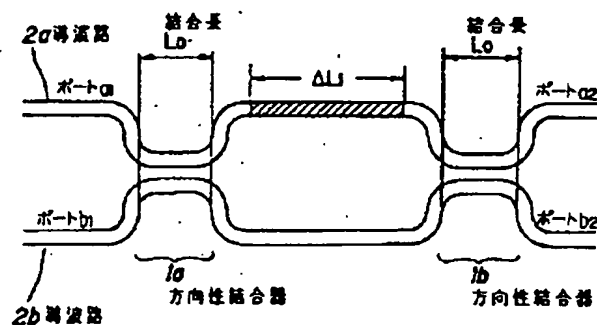
(74) 代理人 弁理士 光石 英俊 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光回路及びその特性調節方法

(57) 【要約】

【目的】 光の位相が導波路の屈折率と光路長に強く依存する光回路において、製作上の微細な変動を修正するため、局所的に屈折率を制御することを目的とするものである。

【構成】 紫外領域の光に敏感なドーパントを導波路に添加し、この導波路に可視又は紫外領域のレーザ光を照射することで、このドーパントを紫外領域における吸収帯を利用して、屈折率を調整するものである。また、干渉させた可視又は紫外領域のレーザ光を導波路に照射することで、屈折率変調型グレーティングとすることも可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 平面基板上に石英系ガラスを素材として作製された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部からなる光導波路により構成された光回路において、紫外領域の光に敏感なドーパントを前記コア部に添加し、前記コア部に可視又は紫外領域のレーザ光を照射することによって該導波路の屈折率を調節することを特徴とする光回路の特性調節方法。

【請求項2】 平面基板上に石英系ガラスを素材として作成された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部とからなる光導波路より構成された二つの方向性結合器と、該方向性結合器を結ぶ2本の導波路からなる光回路において、少なくとも片方の前記導波路の前記コア部に紫外線に敏感なドーパントを添加し、前記コア部に可視又は紫外領域のレーザ光を照射して前記コア部の屈折率を調節することを特徴とする光回路の特性調節方法。

【請求項3】 請求項1又は請求項2の方法で特性が調節されたこと特徴とする光回路。

【請求項4】 平面基板上に石英系ガラスを素材として作製された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部からなる光導波路により構成された光回路において、紫外領域の光に敏感なドーパントを前記コア部に添加し、干渉させた可視又は紫外領域のレーザ光を該導波路に照射することによって形成した屈折率変調型グレーティングを有することを特徴とする光回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、主に光通信部品分野で利用される平面型光回路及びその特性調節方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 石英ガラス基板やシリコン基板上に形成可能な石英系ガラス導波路は、その組成が石英系ガラスファイバと殆ど等しいので、光ファイバとの整合性が良く、実用的な導波形光部品の実現手段として研究開発が進められている。石英系光導波路は、シリコン基板上にアンダークラッド層を堆積し、更に、コア層を堆積し、その後エッチングし、オーバークラッド層を堆積して製造されている。

【0003】 石英系導波路は、損失が低い、安定性が高い、加工性が良い等の特徴があり、光合分岐回路等の受動型部品を構成するうえでは非常に有用である。最近では、その特性を生かして、より高機能高集積化した平面型光回路の作製が進められている。その中で、光の位相を利用した光回路は電子回路では実現できにくい回路可能にするので重要性が高い。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、光の位相を利用した高機能高集積化光回路では、光の位相が導波路の屈折率と光路長に強く依存するので、作製上の微細な屈折率や導波路形状の変動が素子特性に大きく影響する。従って、高集積光回路において、生産性を向上させるためには、製作上の微小な変動を修正する必要がある、局所的に屈折率が制御できる光回路が望まれていた。

【0005】 また、局所的屈折率制御の応用として、波長選択素子等として有用なグレーティングがある。このグレーティングは、導波路において屈折率又は導波路構造を周期的に変化させることによって特性の波長を選択的に反射するものである。従来まで、グレーティングを作製するには導波路中にガラスのエッチングによって凹凸の周期構造を形成することが一般的であった。この場合、エッチングによって効率的にグレーティングを得るには、光の波長程度のピッチで且つピットと同程度の深さを有する凹凸の周期構造を形成する必要があった。

【0006】 ところが、従来のエッチング技術でそのような精巧な凹凸の周期構造を作製するのは容易ではなかった。特に、選択する波長が短くなればなるほど、凹凸の周期間隔を狭くするため、その作製は一層困難となっていた。また、通常、周期構造は導波路上部にエッチングされるので選択波長に偏波依存性がある欠点があった。

【0007】 また、平面型光回路を構成する重要な要素として、マッハツェンダー (Mach-Zehnder) 干渉計がある。このマッハツェンダー干渉計 (以下、MZ干渉計と言う) は、二つの方向性結合器と、その方向性結合器を結ぶ二本の導波路からなる光回路であり、光スイッチや光分波器を構成する上で欠かすことのできない部品である。しかし、MZ干渉計では、僅かな屈折率や導波路形状の変動が素子特性に大きく影響する。従って、MZ干渉計を用いた光回路において生産性を向上させるためには、作製上の微小な変動を修正する必要があったが、従来では困難であり、効果的な調節方法が望まれていた。

【0008】 一方、最近の導波路の屈折率制御に関する研究により、GeO<sub>2</sub>を添加した石英系光ファイバに紫外線を照射すると、そのコアの屈折率が $3 \times 10^{-5}$ 程度変化したことがB.Maloらにより報告されている (B.Malo, et al., Opt. Lett. 15, 953 (1990))。

【0009】 本発明は、上記従来技術に鑑みてなされたものであり、可視又は紫外光照射により、屈折率を効果的且つ局所的に調節し、生産性を向上させた光回路及びその特性調節方法を提供することを目的とする。更に、本発明の他の目的は、可視又は紫外線照射による屈折率変化を応用したMZ干渉計、グレーティングを有する光回路及びその特性調節方法を提供することにある。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】 斯かる目的を達成する本発明の光回路の特性調節方法は平面基板上に石英系ガラ

スを素材として作製された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部からなる光導波路により構成された光回路において、紫外領域の光に敏感なドーバントを前記コア部に添加し、前記コア部に可視又は紫外領域のレーザ光を照射することによって該導波路の屈折率を調節することを特徴とするか、或いは、平面基板上に石英系ガラスを素材として作製された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部とからなる光導波路より構成された二つの方向性結合器と、該方向性結合器を結ぶ2本の導波路からなる光回路において、少なくとも片方の前記導波路の前記コア部に紫外線に敏感なドーバントを添加し、前記コア部に可視又は紫外領域のレーザ光を照射して前記コア部の屈折率を調節することを特徴とする。

【0011】また、上記目的を達成する本発明の光回路の構成は、上述した特性調節により特性が調整されること特徴とするか、或いは、平面基板上に石英系ガラスを素材として作製された光が伝搬するコア部と、該コア部の周りに形成された該コア部よりも屈折率の低いクラッド部からなる光導波路により構成された光回路において、紫外領域の光に敏感なドーバントを前記コア部に添加し、干渉させた可視又は紫外領域のレーザ光を該導波路に照射することによって形成した屈折率変調型グレーティングを有することを特徴とする。

【0012】

【作用】本発明は、紫外線に敏感なドーバントを添加した石英ガラス系導波路に紫外又は可視領域の発振波長を有するレーザを光回路に照射し、光回路を構成する石英系ガラス導波路の屈折率を局所的に調節することを主要な特徴とし、また、本発明の他の特徴は、この局所的屈折率調節法の重要な応用として、レーザ光を何らかの方法で干渉させ、石英ガラス導波路に照射し、屈折率変調型グレーティングを光回路中に作製することを特徴とする。

【0013】従って、屈折率調節の原理は、紫外線に敏\*

$$I_0 / (I_0 + I_1) = \cos^2 (\pi \Delta n \Delta L_1 / \lambda) \sin^2 (\pi L_0 / L_c (\lambda)) \dots (1)$$

但し、 $L_c (\lambda)$  は方向性結合器 1 a, 1 b の完全結合長である。

【0017】この(1)式から明らかなように次式(2)を満たすときに、出力が反転する。

$$\lambda = \Delta n \Delta L_1 \dots (2)$$

波長  $1.3 \mu\text{m}$  において  $\Delta n$  が  $3 \times 10^{-3}$  変化したとすると、 $\Delta L_1$  の値として  $3.3 \text{cm}$  の値が得られる。従って、MZ 干渉計を構成する導波路長が充分であれば MZ 干渉計の特性を調節することができる。

【0018】ここで、屈折率変化の為に用いるレーザの波長は、導波路に添加するドーバントにより変化する。ドーバントとして、 $\text{GeO}_2$  を使用する場合には、屈折率変化は波長  $245 \text{nm}$  の  $\text{GeO}_2$  に関連した吸収に起因するの

\* 感なドーバントを添加した石英系ガラスにおいて屈折率が紫外又は可視領域のレーザ光により変化することに基づいている。この屈折率変化は、ドーバントが紫外領域に吸収帯を有するために生じるものである。また、グレーティングは、干渉したレーザ光を導波路に照射することによって干渉光強度に従って導波路のコアの屈折率を周期的に変化させることにより形成される。グレーティングの選択波長は、レーザ光の干渉縞と導波路の角度を変えることによって調節される。

10 【0014】屈折率調節の為に用いるレーザは、紫外領域に発振波長を有するものに限らず、可視領域に発振波長を有するレーザも使用可能である。可視領域のレーザによっても、2光子吸収により、紫外領域のレーザと同様の变化を誘起するからである。本発明で使用可能なレーザとしては、例えば、He-Cdレーザ、 $\text{N}_2$ レーザ、各種エキシマレーザ、Arイオンレーザ、Nd:YAGレーザの第2次、第3次、第4次高周波等、紫外、可視領域の波長を有するものが使用できる。

20 【0015】図1にMZ干渉計の位相が調節できる原理を示す。図1中、1 a, 1 b は方向性結合器、2 a, 2 b は二つの方向性結合器 1 a, 1 b を結ぶ導波路である。導波路 2 a, 2 b の両端をそれぞれポート  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  とする。ここでは、簡単のために、MZ干渉計の二つの方向性結合器 1 a, 1 b は、同一のものとし、その方向性結合器 1 a, 1 b の結合長を  $L_0$  とした。

30 【0016】ここで、可視又は赤外光レーザを照射して、片方の導波路 2 a の方向性結合器 1 a, 1 b の間における導波路長  $\Delta L_1$  の部分 (図中、斜線部分) において、屈折率が  $\Delta n$  変化したとする。その後、波長  $\lambda$  の光がこのMZ干渉計のポート  $a_1$  から導波路 2 a に入射したとすると、この光は方向性結合器 1 a, 1 b で、導波路 2 a から導波路 2 b へと分岐し、ポート  $a_2$ ,  $b_2$  から出力する。この場合、ポート  $b_2$  のポート  $a_2$  に対する出力比  $I_0 / (I_0 + I_1)$  は次式で表される。

で、レーザは波長  $245 \text{nm}$  付近に発振波長を有するものが使用できる。可視域のレーザでも2光子吸収により、同様の变化を誘起するからである。従って、He-Cdレーザ、 $\text{N}_2$ レーザ、各種のエキシマレーザ、Arイオンレーザ、Nd:YAGレーザの第2次、第3次、第4次高周波等、紫外、可視領域の波長を有するレーザが使用可能である。

【0019】

【実施例】以下、本発明について、図面に示す実施例を参照して詳細に説明する。図2に本発明の第一の実施例を示す。本実施例は、 $\text{GeO}_2$  を添加した石英系光導波路によりMZ干渉計を構成したものである。同図に示すように、このMZ干渉計では通常の方法で、シリコン基板

4上に $\text{GeO}_2$ を添加した石英系ガラス導波路2c、2dが形成されている。導波路2c、2dのコアは、矩形であり、サイズは $7 \times 7 \mu\text{m}$ である。コアとクラッドの屈折率差は0.75%とした。

【0020】導波路2c、2dの間には二個の方向性結合器1c、1dが配置されており、これらの方向性結合器1c、1dは、結合率が波長 $1.3 \mu\text{m}$ でほぼ50%となるように調節した。MZ干渉計の長さとしては、二個の方向性結合器1c、1dの中心間の距離であるとする、本実施例では3cmであった。また、導波路2c、2dの両端には、それぞれ入出力用の光ファイバ3a、3b、3c、3dが接続されている。

【0021】作製したMZ干渉計に波長488nmのArイオンレーザを伝搬させ、照射前後の特性変化を調べた。Arイオンレーザは光ファイバ3aから導入した。Arイオンレーザの入射パワーは1W、照射時間は30分とした。波長488nmでは方向性結合器1c、1dの結合率はほぼ零であるから、Arイオンレーザの光は、導波路2cだけを伝搬して、導波路2cに屈折率変化を誘起する。この場合、屈折率変化の生じる長さ $\Delta L_1$ としてはMZ干渉計の導波路全長(3cm)であると考えられる。

【0022】MZ干渉計の特性は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の半導体レーザを光ファイバ3aから導入して調べた。その結果、Arイオンレーザ照射前では、ファイバ3c、3dの出力比( $I_{3c}/(I_{3c}+I_{3d})$ )は、0.95であったが、照射後はその出力比が0.85に変化したことが確認された。このように、本実施例では、Arイオンレーザ照射により、導波路の屈折率を変化させて、MZ干渉計の出力を調節することが可能できた。

【0023】次に、本発明の第二の実施例について、図3を参照して詳細に説明する。本実施例は、石英系導波路においてエキシマレーザによりMZ干渉計の特性を変化させたものである。また、本実施例のMZ干渉計は非対称型であり、周波数又は波長分波器として動作する。即ち、シリコン基板4a上には $\text{GeO}_2$ を添加した石英ガラス導波路2e、2fが通常の方法で形成され、導波路2eは導波路2fより長くなっている。ここで、導波路2e、2fの光路長差 $\Delta L_2$ は1cmとして、周波数10GHz間隔で入射光を分波できるように設計した。導波路2e、2fのコアは矩形であり、サイズは $8 \times 8 \mu\text{m}$ である。コアとクラッドの屈折率差は0.25%とした。導波路2e、2fの両端には、それぞれ入出力用の光ファイバ3e、3f、3g、3hが接続されている。シリコン基板4a上面には、エキシマレーザ光の照射領域を制限する遮蔽用の金属膜5が置かれている。この金属膜5は、導波路2fを部分的に露出する窓部を有している。

【0024】導波路2e、2fの間には二個の方向性結合器1e、1fが配置され、これら方向性結合器1e、1fでは、結合率が波長 $1.55 \mu\text{m}$ でほぼ50%となるように調整した。短い導波路2fの二つの方向性結合器1

e、1fの中心間距離を5cmとした。

【0025】作製したMZ干渉計に上部より波長 $245 \mu\text{m}$ のKrFエキシマレーザ光を照射し、照射前後の特性変化を調べた。KrFエキシマレーザ光は、エキシマレーザ6から出射され、ミラー7及びレンズ8a、8bを介して、遮蔽用の金属膜5の窓部を通じて導波路2fに照射された。従って、エキシマレーザ光は導波路2fだけに屈折率変化を誘起する。KrFエキシマレーザ光は繰り返し10kHz、エネルギー1mJのものをを用いた。照射領域は、 $50 \mu\text{m} \times 10 \text{mm}$ であった。

【0026】本実施例のMZ干渉計の特性を調べるために、中心波長 $1.55 \mu\text{m}$ の電流掃引型半導体レーザを光ファイバ3eから光回路に導入した。本実施例では、エキシマレーザの照射中にMZ干渉計の特性変化をモニターすることができる。図4は、20分照射後における光ファイバ3gからの出力の周波数依存性を照射前と比較して示す。図4に示すように $1.55 \mu\text{m}$ 付近の信号光における周波数選択位置がエキシマレーザ照射により調節されていることが判る。このように、本実施例では、エキシマレーザ照射により、MZ干渉計の特性を調節することが可能できた。

【0027】尚、上記実施例において、導波路に添加される $\text{GeO}_2$ の濃度に関しては、MZ干渉計の長さにより調節が可能であるので、特に制限されるものではない。また、上記実施例では、ドーパントとして $\text{GeO}_2$ を用いたが、その他にも、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Ce}_2\text{O}_3$ 等の紫外領域に吸収を有し、紫外線に敏感なドーパントを使用してもよい。

【0028】図5に本発明の第三の実施例を示す。本実施例は、干渉させたエキシマレーザ光を石英系ガラス導波路に照射することにより、導波路中に波長 $1.55 \mu\text{m}$ 用のグレーティングを形成したものである。即ち、シリコン基板14上には通常の方法により、 $\text{GeO}_2$ を添加した石英系ガラス導波路が作製されている。この導波路のコアは矩形であり、サイズは $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$ である。コアとクラッドの屈折率差は0.75%とした。

【0029】このような導波路付きのシリコン基板14に、エキシマレーザ1から出射した波長245nmのKrFエキシマレーザをハーフミラー2及び全反射ミラー3a、3bよりなる干渉光学系により干渉させて照射した。KrFエキシマレーザには、繰り返し10Hz、エネルギー密度100mJのものをを用いた。照射した導波路の長さは10mmとし、照射時間は20分とした。グレーティングの選択波長を決めるために、レーザの干渉角と導波路の角度を変えてグレーティングを作製した。

【0030】グレーティングの特性を調べるため、中心波長 $1.55 \mu\text{m}$ のLEDをファイバから光回路に導入し、測定にはスペクトルアナライザーを用いた。その結果、角度 $25^\circ$ の時にグレーティングの選択波長が $1.55 \mu\text{m}$ になり、グレーティングの反射率は90%であった。また、

7

本実施例で作製されたグレーティングでは偏波依存性が殆ど観測されなかった。このように、干渉させたエキシマレーザの照射により、波長選択特性を有するグレーティングを形成することができた。

【0031】図6に本発明の第四の実施例を示す。本実施例は、スリットを用いて干渉させたArイオンレーザ光の照射により、GeO<sub>2</sub>の添加した石英系ガラス導波路に波長1.3μm用のグレーティングを作製したものである。即ち、シリコン基板14a上には通常の方法により、GeO<sub>2</sub>を添加した石英系ガラス導波路が作製されて

【0032】このような導波路付きのシリコン基板14aに、Arイオンレーザ15から出射したArイオンレーザ光を対物レンズ17に通過させ、スリット16で干渉させて照射した。Arイオンレーザ光の波長は488nm、出力は15W、照射時間は30分とした。特性については、第三の実施例と同様な方法により調べた。その結果、波長1.3μm帯で反射率85%、選択波長幅20GHz(0.05nm)であ

【0033】図7は本発明の第五の実施例を示すものである。本実施例では、石英系光導波路中にArイオンレーザを導波路に伝搬させることにより、グレーティングを作製したものである。同図に示すように、シリコン基板14b上には通常の方法により、GeO<sub>2</sub>を添加した石英系ガラス導波路型MZ干渉計が作製されている。この導波路のコアは矩形であり、サイズは7μm×7μmで

【0034】このような導波路付きのシリコン基板14aに、Arイオンレーザ15aから出射したArイオンレーザ光を対物レンズ18を通して導入した。Arイオンレーザ光の波長は488nm、出力は0.2W、照射時間は30分とした。本実施例では、導波路において入射したレーザ光と、入射側と反対の端面でフレネル反射(反射率4%程度)した光が干渉することにより、屈折率変調を誘起し、グレーティングを形成した。特性については第三の実施例と同様な方法により調べた。その結果、選択波長488nmで反射率95%であった。このように、本実施例では、フレネル反射を利用したArイオンレーザ光の伝搬により、高効率なグレーティングを形成することができた。

【0035】また、本実施例では、シリコン基板14aの端面に誘電体ミラーを蒸着又は全反射ミラーを設置することで作製効率を向上させることが可能である。

【0036】尚、上記実施例では、導波路に添加されるGeO<sub>2</sub>の濃度に関しては、導波路の長さにより調節が可能であるから、特に制限するものではない。また、以上

8

の実施例では、ドーパントとして、GeO<sub>2</sub>を使用した。その他にも、TiO<sub>2</sub>、CeO<sub>2</sub>など紫外領域に吸収帯を有し、紫外線に敏感なドーパントが使用できるものである。

【0037】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように本発明は、導波路のコア部に紫外線に敏感なドーパントを添加して、この導波路に可視又紫外光レーザを照射してコアの屈折率を局所的に且つ精密に調節することができる。従って、本発明によれば、従来の光回路作製法の変更を必要とせず、位相特性を調節した光回路を効果的且つ簡便に提供することが出来る。また、本発明は、既に作製された光回路を対象として実施できるので、規格外の出力特性の回路を所望の特性に変更することが出来、光回路の生産性が向上する。更に、本発明によるグレーティング作製法では、偏波依存性がなく、任意の選択波長を有するグレーティングを光回路中に簡便に作製することが出来、新機能光回路を安価に提供することが出来る。また、本発明は、MZ干渉計の出力特性を効果的且つ簡便に調節することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光回路に係る原理図である。

【図2】本発明の第一の実施例に係る対称型MZ干渉計の構成図である。

【図3】本発明の第二の実施例に係る非対称型MZ干渉計の構成図である。

【図4】本発明の第二の実施例で測定したレーザ照射によるMZ干渉計の特性変化を示すグラフである。

【図5】本発明の第三の実施例に係る光回路の構成図である。

【図6】本発明の第四の実施例に係る光回路の構成図である。

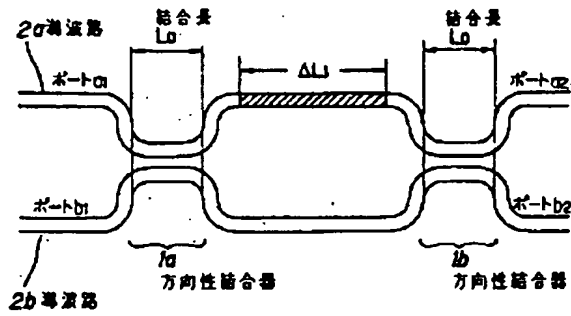
【図7】本発明の第五の実施例に係るMZ干渉計の構成図である。

【符号の説明】

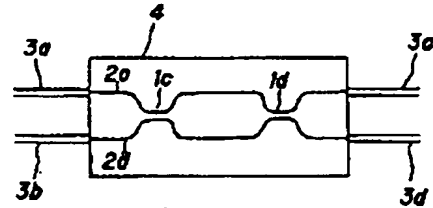
- 1 a, 1 b, 1 c, 1 d, 1 e, 1 f 方向性結合器
- 2 a, 2 b, 2 c, 2 d, 2 e, 2 f 導波路
- 3 a, 3 b, 3 c, 3 d, 3 e, 3 f, 3 g, 3 h 光ファイバ
- 4, 4 a シリコン基板
- 5 遮蔽用の金属膜
- 6 エキシマレーザ
- 7 ミラー
- 8 a, 8 b レンズ
- 11 エキシマレーザ
- 12 ハーフミラー
- 13 a, 13 bは全反射ミラー
- 14, 14 a, 14 b シリコン基板
- 15, 15 a Arイオンレーザ
- 16 スリット

## 17. 18 対物レンズ

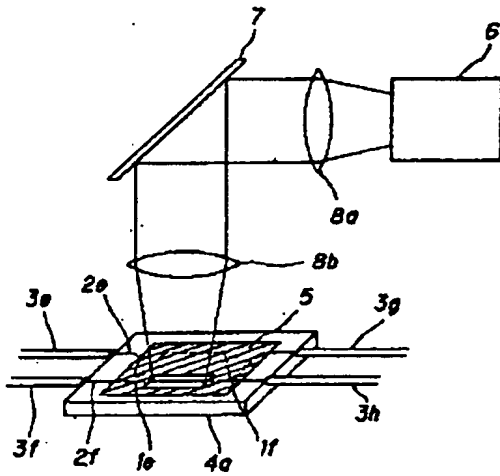
【図1】



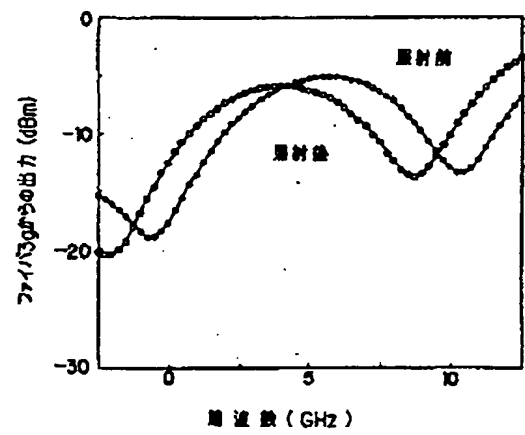
【図2】



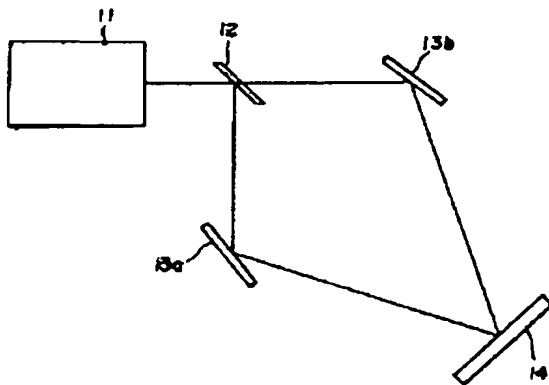
【図3】



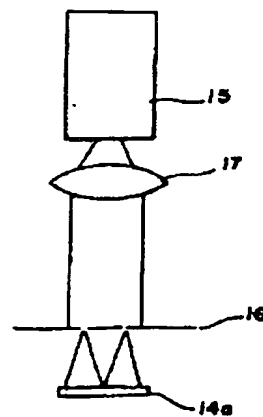
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

